



## Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Aenderungsgesetzes  
zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

155 220

Int.Cl.<sup>3</sup>

3(51) H 01 L 29/82

## AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veroeffentlicht

(21) WP 11 01 L/ 225 908

(22) 10.12.80

(44) 19.05.82

- (71) siehe (72)  
 (72) RICHTER, WOLFGANG, DR. RER. NAT. DIPL.-PHYS.; GEBHARDT, OLAF, DIPL.-PHYS.; DD;  
 (73) siehe (72)  
 (74) FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITAET JENA, DIREKTORAT FUER FORSCHUNG, 6900 JENA,  
 AUGUST-BEBEL-STR. 4

## (54) MAGNETORESISTIVES FELDEFFEKT-BAUELEMENT

(57) Die Erfindung betrifft ein vielseitig einsetzbares elektronisches Bauelement. Es kann sowohl zur Messung und Verstärkung von Gleich- und Wechselstroemen bei vollstaendiger galvanischer Trennung von Ein- und Ausgangssignal als auch als Analogmultiplizierer elektrischer Signale eingesetzt werden. Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein als Analogmultiplizierer und Stromsensor verwendbares Bauelement aus duennen Schichten zu schaffen, das nicht von auessen magnetischen Stoerfeldern beeinflusst wird und das eine hohe Stromempfindlichkeit besitzt. Diese Aufgabe wird dadurch geloest, daß ein magnetoresistives Feldeffekt-Bauelement zur Ausnutzung des anisotropen Magnetwiderstandseffektes duenner einachsiger ferromagnetischer Schichten verwendet wird, bei denen die leichte Achse der Magnetisierung um einen Winkel von etwa 45° gegen die Richtung des Stromflusses geneigt ist. Dabei sind auf einem elektrisch isolierenden, waermeleitfaehigen Substrat vier streifenfoermige Magnetwiderstaende aus diesen einachsigen ferromagnetischen Schichten in Form einer Brueckenschaltung angeordnet. Jeweils ueber den Magnetwiderstaenden befinden sich unsymmetrisch zusammengeschaltete Steuerleiter gleicher Streifenbreite. -Figur 1-

Titel der Erfindung

Magnetoresistives Feldeffekt-Bauelement

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein vielseitig einsetzbares, neuartiges elektronisches Bauelement, das in einem großen Temperaturbereich von 0 K bis 400 K und in einem großen Frequenzbereich von 0 Hz bis 1 MHz funktionsfähig ist. Dieses magnetoresistive Feldeffekt-Bauelement kann einerseits zur Messung und Verstärkung von Gleich- und Wechselströmen bei vollständiger galvanischer Trennung von Ein- und Ausgangssignal verwendet werden. Andererseits kann es als Analogmultiplizierer elektrischer Ströme oder Spannungen eingesetzt werden, wobei keine Betriebsspannung erforderlich ist und die beiden Eingangssignalleitungen elektrisch nicht miteinander verbunden sind. Aus der Vielfalt der möglichen Anwendungen sollen nur einige Beispiele angegeben werden:

Beim Einsatz des magnetoresistiven Feldeffekt-Bauelementes als Stromsensor können Gleichstromsignale mit galvanischer Trennung zwischen Ein- und Ausgangskreis linear übertragen werden. Damit kann die Stromaufnahme elektronischer Geräte gemessen werden und die Eingangsleitungen elektrischer Registriergeräte wie Schreiber und Oszillographen können galvanisch getrennt werden.

Beim Einsatz als Analogmultiplizierer kann außer der Anwendung in direkten Rechenschaltungen die Leistungsaufnahme elektronischer Geräte ohne zusätzliche Betriebsspannung ge-

messen werden. Das magnetoresistive Feldeffekt-Bauelement eignet sich auch gut als phasenempfindlicher Detektor.

### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Das magnetoresistive Feldeffekt-Bauelement ist ein neuartiges elektronisches Bauelement auf der Grundlage bekannter physikalischer Effekte. Entsprechend seiner beiden Anwendungsmöglichkeiten als Analogmultiplizierer und als Stromsensor soll es mit naheliegenden technischen Lösungen dieser Bauelementegruppen verglichen werden. Bekannt ist ein Analogmultiplizierer auf der Grundlage des Halleffektes in dünnen magnetischen Schichten (DE-AS 2009 972 ).

Die Hallspannung ist dabei proportional dem Produkt aus der magnetischen Feldstärke im Element und dem Betriebsstrom. Diese Anordnung besitzt drei Nachteile:

1. Da äußere Magnetfelder in gleicher Weise wie das Steuermagnetfeld auf das Ergebnissignal einwirken, ist zur Vermeidung von Fehlern eine sorgfältige Abschirmung äußerer Störmagnetfelder notwendig.
2. Durch die Verwendung einer Steuerspule beansprucht das Bauelement ein großes Volumen.
3. Da das Bauelement nicht vollständig aus dünnen Schichten besteht, ist seine Herstellung verhältnismäßig aufwendig.

Bekannt ist weiterhin ein Stromsensor auf der Grundlage des magnetoresistiven Effektes dünner hochpermeabler Schichten (IEEE Trans. Magnetics, MAG-12, 813-815, 1976 ). Die Ausgangsspannung dieses Bauelementes ist proportional zu dem magnetischen Steuerfeld, das durch einen stromdurchflossenen Steuerleiter erzeugt wird. Diese Anordnung besitzt folgende Nachteile:

Vermeidung von Meßfehlern eine sorgfältige Abschirmung, Ver-

Berer Störmagnetfelder notwendig.

2. Infolge der Verwendung eines einzigen breiten Steuerleiters, der sich über der Brücke aus magnetoresistiven Schichten befindet, ist die Empfindlichkeit des Stromsensors gering.

#### Ziel der Erfindung

Mit der Erfindung wird das Ziel verfolgt, ein elektronisches Bauelement zu schaffen, das als Analogmultiplizierer und als Stromsensor einsetzbar ist, wobei das Ergebnissignal von äußeren magnetischen Störfeldern nicht beeinflussbar sein soll. Das Bauelement soll aus dünnen Schichten bestehen, so daß es rationell gefertigt werden kann. Außerdem soll es eine hohe Stromempfindlichkeit besitzen.

#### Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Ursache der Abhängigkeit des Ergebnissignals von äußeren magnetischen Störfeldern liegt bei den angegebenen Lösungen für den Analogmultiplizierer und den Stromsensor in der Verwendung eines einzigen Steuerfeldes. Die Verwendung einer Steuerspule ergibt ein großes Volumen des Bauelementes und erfordert einen relativ großen Herstellungsaufwand. Bei der Verwendung eines einzigen breiten Steuerleiters ist die Stromempfindlichkeit gering.

Die Aufgabe der Erfindung besteht deshalb darin, ein als Analogmultiplizierer und Stromsensor verwendbares Bauelement zu schaffen, das nicht von äußeren magnetischen Störfeldern beeinflusst wird und das eine hohe Stromempfindlichkeit besitzt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß ein magnetoresistives Feldeffekt-Bauelement zur Nutzung des anisotropen Magnetwiderstandseffektes dünner einachsiger ferromagnetischer Schichten verwendet wird, bei denen die leichte Achse der Magnetisierung um einen zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  lie-

genden Winkel gegen die Richtung des Stromflusses, insbesondere um etwa  $45^\circ$  geneigt ist. Dabei sind auf einem elektrisch isolierenden, warmeleitfähigen Substrat vier streifenförmige Magnetwiderstände aus diesen einachsigen ferromagnetischen Schichten in Form einer Brückenschaltung angeordnet. Jeweils über den Magnetwiderständen befinden sich Steuerleiter gleicher Streifenbreite. Diese Steuerleiter sind unsymmetrisch zusammengeschaltet.

Wenn die vier Steuerleiter stromlos sind, besitzen die vier streifenförmigen Magnetwiderstände den gleichen Widerstand und die Brücke ist abgeglichen. Deshalb ist die Differenzspannung an der Brücke unabhängig von der an der Brücke anliegenden Spannung gleich Null.

Fließt durch die über den Magnetwiderständen befindlichen Steuerleiter ein Steuerstrom, so ändern sich die Werte der Magnetwiderstände infolge der vom Steuerstrom erzeugten Magnetfelder und des magnetoresistiven Effektes. Da die Steuerleiter unsymmetrisch zusammengeschaltet sind, ist die Widerstandsänderung jeweils zweier benachbarter Brückenwiderstände entgegengesetzt und die Brücke wird verstimmt. Dabei entsteht eine Differenzspannung an der Brücke, die dem Produkt der an der Brücke anliegenden Spannung und dem Steuerstrom proportional ist. Dadurch kommt die multiplizierende Wirkung des Bauelementes zustande. Bei konstanter Brücken- spannung ist die Differenzspannung an der Brücke proportional zum Steuerstrom und das Bauelement kann als Stromsensor eingesetzt werden.

Für einige Anwendungen kann es vorteilhaft sein, anstelle der Steuerleiter eine oder zwei Spiralen aus schmalen, dicht nebeneinanderliegenden Leiterzügen mit der gleichen Gesamtbreite wie die Magnetwiderstände isoliert über den Magnetwiderständen anzuordnen. Das vom Steuerstrom erzeugte Magnetfeld ist umgekehrt proportional zur Breite des Steuerleiters. Deshalb erhöht sich die Stromempfindlichkeit des Bauelemen-

Leiterzüge der Spirale ist.

Für verschiedene Anwendungsmöglichkeiten des Bauelementes ist es zweckmäßig, wenn die streifenförmigen Magnetwiderstände und die Steuerleiter eine mäanderförmige Gestalt besitzen. Dadurch kann ein großes Länge-Breite-Verhältnis der streifenförmigen Magnetwiderstände und somit ein großer Brückenwiderstand auf einem relativ kleinen Substrat realisiert werden.

Das Bauelement läßt sich auch so gestalten, daß zwei der vier Widerstände der Brückenschaltung Festwiderstände sind. Dadurch verringert sich der Herstellungsaufwand und die Größe des Bauelementes. Zur Erzielung eines großen Steuereffektes muß der Widerstand der Festwiderstände größer als der Widerstand der Magnetwiderstände sein.

#### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an Hand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen :

- Fig. 1 ein magnetoresistives Feldeffekt-Bauelement mit vier streifenförmigen Magnetwiderständen und den darüber befindlichen Steuerleitern,
- Fig. 2 ein magnetoresistives Feldeffekt-Bauelement, bei dem anstelle der vier Steuerleiter eine Spirale isoliert über den vier Magnetwiderständen angeordnet ist und
- Fig. 3 ein magnetoresistives Feldeffekt-Bauelement mit zwei mäanderförmigen Magnetwiderständen und zwei darüberliegenden mäanderförmigen Steuerleitern.

In Fig. 1 ist ein gemäß der Erfindung gestaltetes magnetoresistives Feldeffekt-Bauelement dargestellt. Auf einem Substrat 1 aus undotiertem Silizium befinden sich vier streifenförmige Magnetwiderstände 2 - 5 aus einer einachsigen 30 nm dicken Fe-Ni-Permalloyschicht. Die leichte Achse l.A. der Fe-Ni-Schicht liegt parallel zur Längsrichtung der

Magnetwiderstände und bildet mit der Stromrichtung  $I$  einen Winkel von  $45^\circ$ . Die Schrägstellung der Stromrichtung wird durch schräge, elektrisch gut leitende schmale Metallstreifen 6, die in Verbindung mit der Fe-Ni-Schicht stehen, bewirkt. Der erforderliche Winkel zwischen Stromrichtung und leichter Achse kann auch mit anderen Methoden realisiert werden. Möglich sind zum Beispiel das Kippen der leichten Achse gegenüber der Längsrichtung der Magnetwiderstände oder die Nutzung einer magnetischen Doppelschicht. Die vier streifenförmigen Magnetwiderstände sind zu einer Brücke zusammengeschaltet, die mit dem Strom  $2I$  betrieben wird. Die Ausgangsspannung  $U_a$  der Brücke ist das Ausgangssignal des magnetoresistiven Bauelementes. Elektrisch isoliert über den Magnetwiderständen befinden sich vier Steuerleiter 7-10 gleicher Streifenbreite, die unsymmetrisch zusammengeschaltet sind. Durch die unsymmetrische Zusammenschaltung werden vom Steuerstrom  $I_{St}$  in der Ebene der Magnetwiderstände die mit  $H$  bezeichneten Magnetfelder erzeugt. Diese Magnetfelder bewirken ein Drehmoment auf die zunächst in der leichten Achse befindlichen Magnetisierung der Magnetwiderstände. Dadurch ergeben sich infolge des magnetoresistiven Effektes wechselseitig positive und negative Widerstandsänderungen benachbarter Magnetwiderstände und damit ein zum Steuerstrom proportionales Ausgangssignal. Dieses Ausgangssignal ist außerdem proportional zum Strom  $2I$ , der durch die Brücke fließt, bzw. zu der an der Brücke angelegten Spannung. Äußere störende Magnetfelder erzeugen dagegen eine einheitliche Widerstandsänderung aller vier Magnetwiderstände und führen deshalb zu keiner Beeinflussung des Ausgangssignals.

Der durch die Spirale mit  $n$  Windungen in Fig. 2 fließende Steuerstrom  $I_{St}$  erzeugt ein  $n$ -fach stärkeres Magnetfeld als die Steuerleiter in Fig. 1. Wegen der Proportionalität zwischen magnetischem Steuerfeld und Widerstandsänderung der Magnetwiderstände 2-5 ist die Stromverstärkung

In Fig.3 ist eine Anordnung mit zwei mäanderförmigen Magnetwiderständen und 2 Festwiderständen R dargestellt. Die Magnetwiderstände sind mäanderförmig ausgeführt, um auf einer kleinen Substratfläche einen großen Widerstand unterzubringen. Die Festwiderstände besitzen einen größeren Widerstand als die Magnetwiderstände. Die Neigung der leichten Achse l.A. der Magnetisierung gegen die Richtung des Stromflusses kommt durch den Winkel zwischen leichter Achse und Längsrichtung der Magnetwiderstände zustande. Die beiden Steuerleiter über den Magnetwiderständen besitzen ebenfalls eine mäanderförmige Gestalt, um die zur unsymmetrischen Ansteuerung der Brücke erforderlichen Magnetfeldgradienten zu erzeugen.



# Erfindungsanspruch

1. Magnetoresistives Feldeffekt-Bauelement zur Ausnutzung des anisotropen Magnetwiderstandseffektes dünner einachsiger ferromagnetischer Schichten, bei denen die leichte Achse der Magnetisierung um einen zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  liegenden Winkel, insbesondere um etwa  $45^\circ$  gegen die Richtung des Stromflusses geneigt ist, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem elektrisch isolierenden, wärmeleitfähigen Substrat vier streifenförmige Magnetwiderstände aus diesen einachsigen ferromagnetischen Schichten in Form einer Brückenschaltung angeordnet sind, daß sich jeweils isoliert über den Magnetwiderständen Steuerleiter gleicher Streifenbreite befinden und daß die Steuerleiter unsymmetrisch zusammengeschaltet sind.
2. Anordnung nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle der Steuerleiter eine oder zwei Spiralen aus schmalen, dicht nebeneinanderliegenden Leiterzügen mit der gleichen Gesamtbreite wie die Magnetwiderstände isoliert über den Magnetwiderständen angeordnet sind.
3. Anordnung nach Punkt 1, dadurch gekennzeichnet, daß die streifenförmigen Magnetwiderstände und die Steuerleiter eine mäanderförmige Gestalt besitzen.
4. Anordnung nach einem der Punkte 1-3, dadurch gekennzeichnet, daß zwei der vier Widerstände der Brückenschaltung Festwiderstände sind.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen





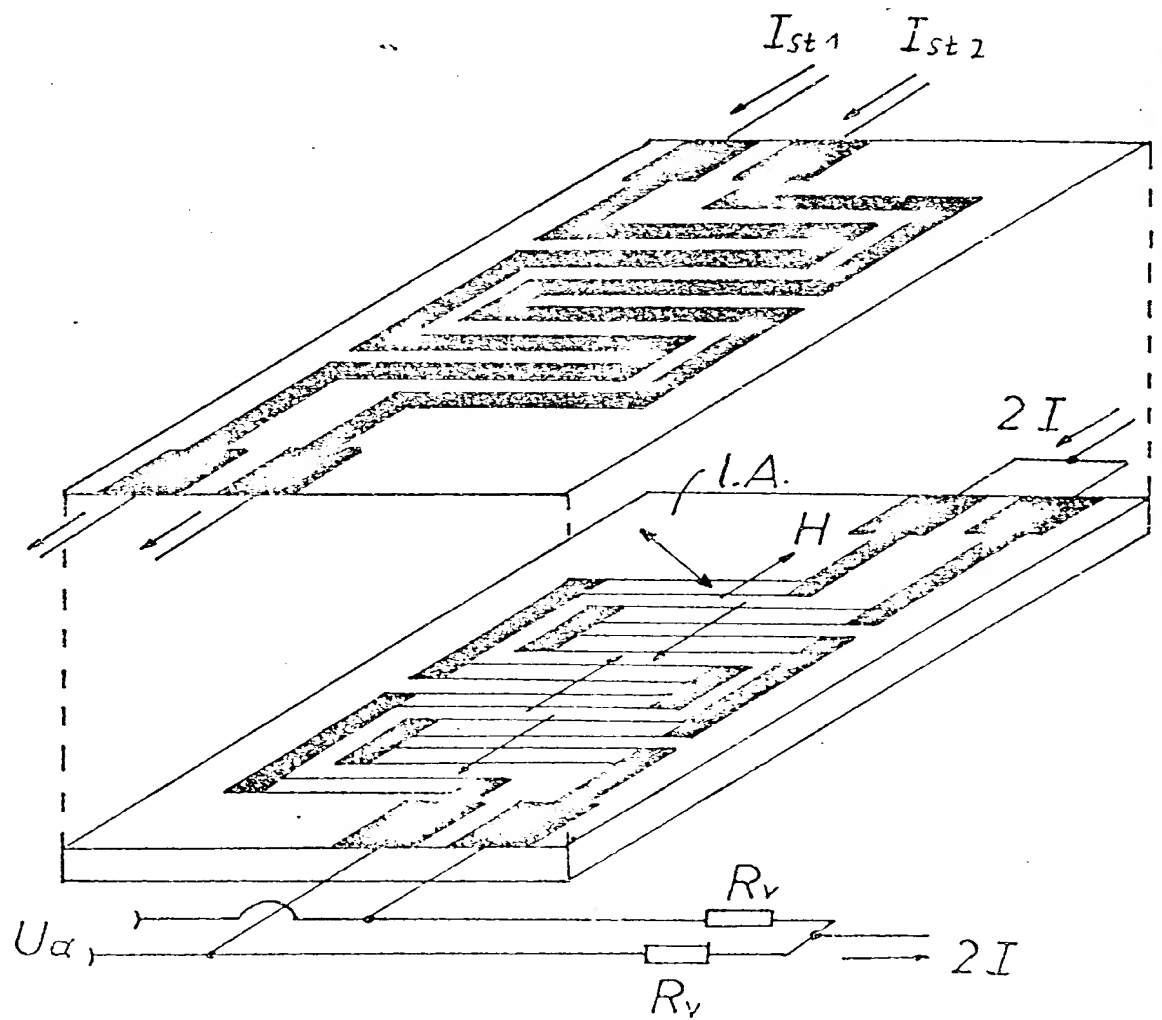


Fig. 3

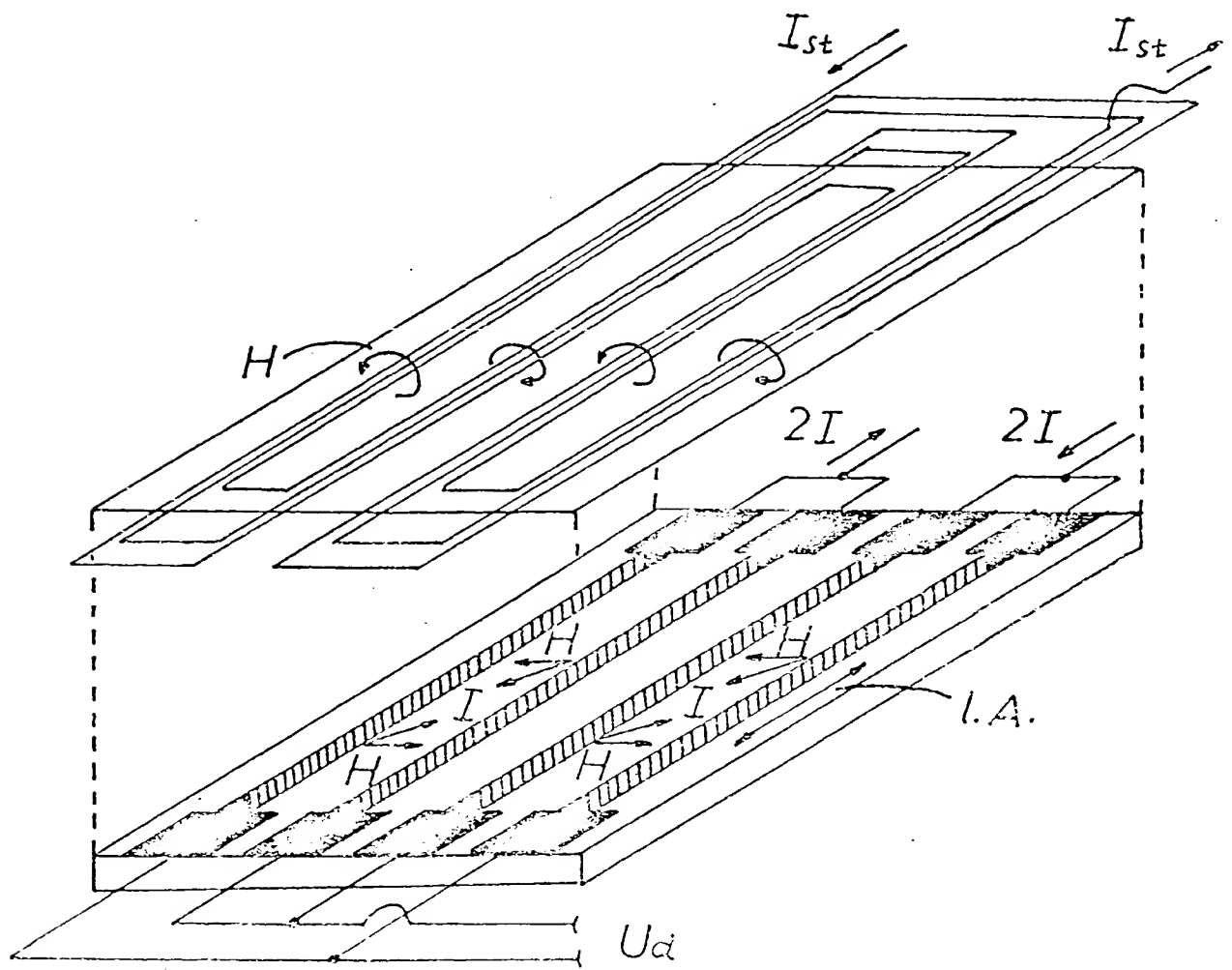


Fig. 2

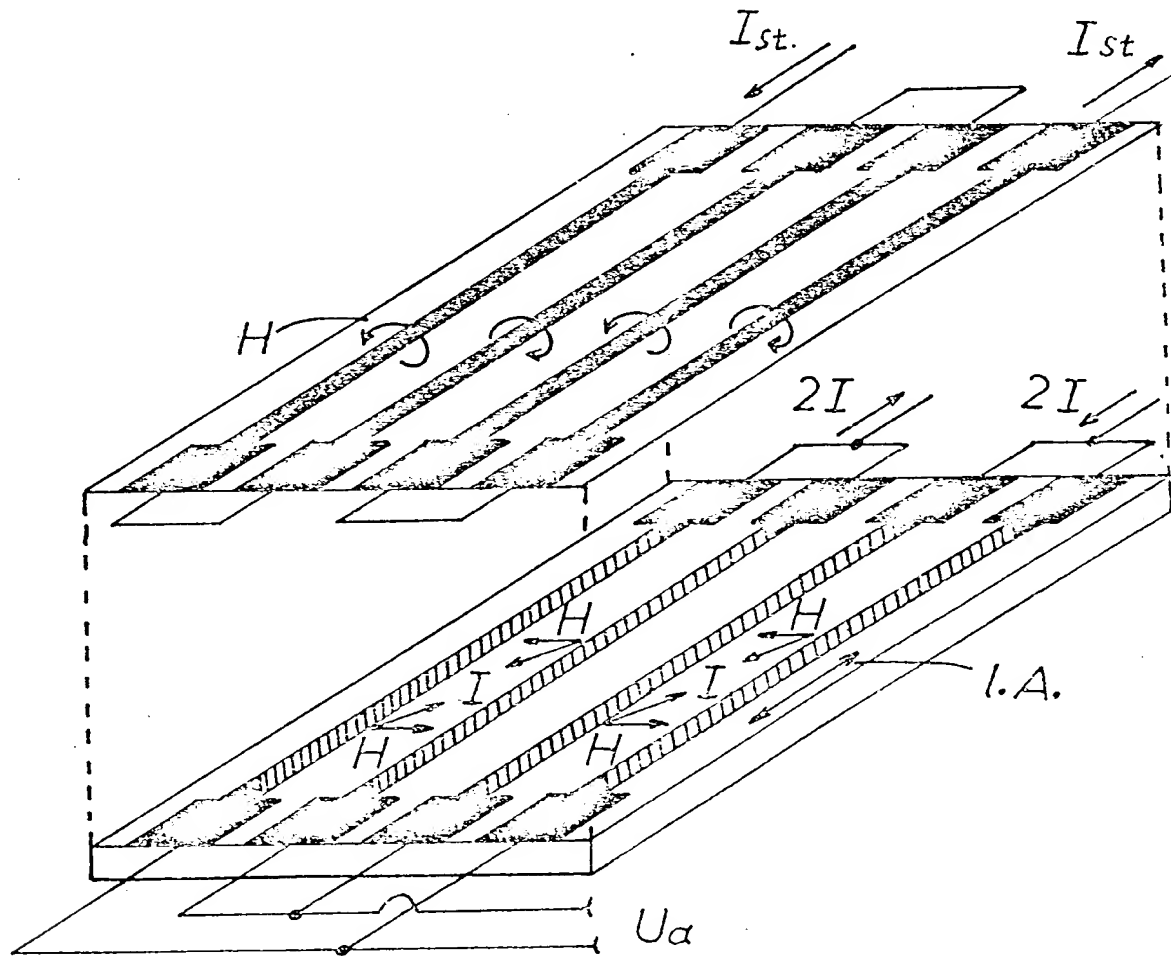


Fig. 1